

MAGNETORESISTANCE EFFECT MATERIAL

Patent Number: JP10256621

Publication date: 1998-09-25

Inventor(s): UMEMOTO TAKUJI; MAEDA ATSUSHI; OIKAWA SATORU; YAMANO KOJI; TANUMA TOSHIO; KUME MINORU

Applicant(s): SANYO ELECTRIC CO LTD

Requested Patent: JP10256621

Application Number: JP19970057944 19970312

Priority Number(s):

IPC Classification: H01L43/08 ; H01F10/28

EC Classification:

Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a new construction of a spin-valve type magnetoresistance effect material including its base layer having a high MR change rate and uniaxial anisotropic magnetic field, and having a magnetic field inversion layer of a low coercive force, by using a base layer composed by laminating a Zr layer and a Cu layer in this order.

SOLUTION: The laminated film of a magnetoresistance effect material shown in the figure is formed on an Si substrate. A Zr layer 2 is formed on the Si substrate, and a Cu layer 3 is formed on the Zr layer 2. The Zr layer 2 and the Cu layer 3 constitute a base layer 1. On the Cu layer 3, a CoFe layer as a ferromagnetic layer 4 is formed on the Cu layer 3, and on it a Cu layer as a conductive layer 5 is formed. On the conductive layer 5, a CoNiFe layer as a ferromagnetic layer 6 is formed on the conductive layer 5, and moreover on it an IrMn layer as an antimagnetic layer 7 is formed. Consequently, it becomes possible to obtain a magnetoresistance effect material having a high MR change rate and uniaxial anisotropic magnetic field, and having a magnetic inversion layer of a low coercive force as well.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

Best Available Copy

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-256621

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月25日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 L 43/08

H 0 1 L 43/08

Z

H 0 1 F 10/28

H 0 1 F 10/28

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平9-57944

(22) 出願日 平成9年(1997) 3月12日

特許法第30条第1項適用申請有り 1997年1月24日 社団法人電子情報通信学会発行の「電子情報通信学会技術研究報告信学技報vol. 96 No. 486」に発表

(71) 出願人 000001889

三洋電機株式会社

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号

(72) 発明者 梅本 卓史

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内

(72) 発明者 前田 篤志

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内

(72) 発明者 及川 悟

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内

(74) 代理人 弁理士 目次 誠 (外1名)

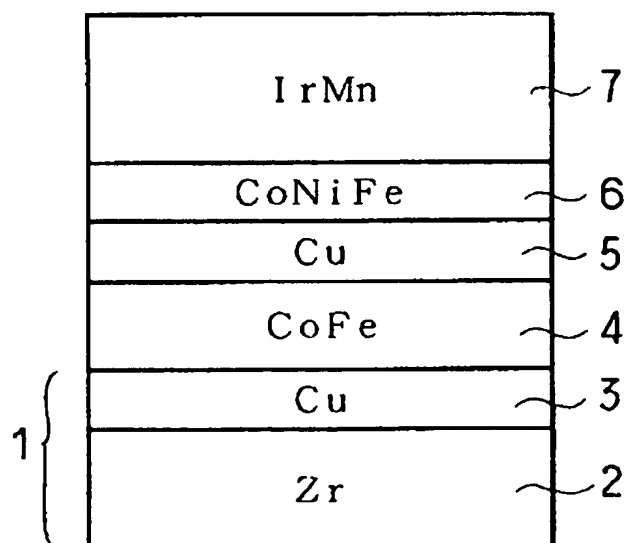
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果材料

(57) 【要約】

【課題】 MR変化率及び一軸異方性磁界が高く、かつ磁化反転層の保磁力の低いスピバルブ型の磁気抵抗効果材料の下地層を含めた新規な構造を得る。

【解決手段】 下地層1として、Zr層2及びCu層3をこの順序で積層し、この下地層1の上に、強磁性層4、伝導層5、強磁性層6、及び反強磁性層7をこの順序で積層した構造を有することを特徴としている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 下地層の上に、強磁性層、伝導層、強磁性層、及び反強磁性層をこの順序で積層した構造を有するスピバルブ型の磁気抵抗効果材料において、前記下地層として、Zr層及びCu層をこの順序で積層した下地層を用いたことを特徴とする磁気抵抗効果材料。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気抵抗効果材料に関するものであり、特に、強磁性層、伝導層、強磁性層、及び反強磁性層をこの順序で積層した構造を有するスピバルブ型の磁気抵抗効果材料に関するものである。

【0002】

【従来の技術】ハードディスク(HDD)に用いる磁気ヘッドとして、近年、磁気抵抗効果型(MR)ヘッドが注目されている。MRヘッドは、外部磁界の変化を電気伝導率の変化により検出するヘッドであり、従来の誘導型磁気ヘッドに比べ高い磁界感度を有し、高密度記録化を図ることができる。このようなMRヘッドに用いる磁気抵抗効果材料としては、従来より、パーマロイ等の3d遷移金属合金が採用されており、磁化方向の変化に対応した抵抗の増減(異方性磁気抵抗効果:AMR)で信号を検出している。

【0003】しかしながら、最近、この従来のAMRに比べ1桁高い抵抗変化率を示す巨大磁気抵抗効果(GMR)型の磁気抵抗効果材料が見出され、注目されている。GMR材料は、一般に、強磁性層と非磁性伝導層とを積層した多層膜構造を有しており、(1)反強磁性結合型、(2)保磁力差型、及び(3)スピバルブ型と呼ばれる3種類の材料系が知られている。

【0004】スピバルブ型のMR材料は、強磁性層、伝導層、強磁性層、及び反強磁性層を積層した構造を有しており、反強磁性層が一方の強磁性層と磁気的に結合し、該強磁性層の磁化をピン留めしている。このため、広い磁界領域で反平行磁化状態が安定化しており、磁気抵抗変化率が高く、かつ磁界感度が高いところから、最も実用化に近いMR材料とされている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】このようなスピバルブ型のMR材料においては、高い磁界検出感度を得るため、MR変化率、及び一軸異方性磁界(H_{ua})が高く、かつ磁界反転(フリー)層の保磁力(H_c)が低いことが望ましく、このような観点から種々の検討がなされている。

【0006】しかしながら、このようなスピバルブ型のMR材料の下地層については、十分な検討がなされておらず、優れたMR特性を示す下地層を含めた磁気抵抗効果材料の検討は十分にはなされていない。

【0007】本発明の目的は、MR変化率及び一軸異方性磁界が高く、かつ磁界反転層の保磁力の低いスピバルブ型の磁気抵抗効果材料の下地層を含めた新規な構造を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の磁気抵抗効果材料は、下地層の上に、強磁性層、伝導層、強磁性層、及び反強磁性層をこの順序で積層した構造を有するスピバルブ型の磁気抵抗効果材料であり、下地層として、Zr層及びCu層をこの順序で積層した下地層を用いたことを特徴とする磁気抵抗効果材料である。

【0009】本発明において下地層として用いられるZr層及びCu層の積層膜は、Cu層が磁界反転層である下方の強磁性層と接するように設けられるものである。従って、本発明における下地層は、反強磁性層と磁気的に結合していない、フリーな強磁性層の下地層として形成される。Zr層及びCu層の膜厚は、特に限定されるものではないが、下地層全体としては、5~15nm程度であることが好ましく、Cu層は、3nm以下の膜厚であることが好ましい。また、Zr層及びCu層の形成方法は、特に限定されるものではなく、スパッタリング法、真空蒸着法及びCVD法などの一般的な薄膜形成方法により形成することができる。

【0010】本発明の磁気抵抗効果材料に用いられる強磁性層は、強磁性体から形成された層であれば特に限定されるものではなく、例えば、NiFe層、Co層、CoNiFe層、CoFe層等の強磁性層が挙げられる。強磁性層の膜厚は、一般に1~10nm程度である。

【0011】本発明の磁気抵抗効果材料に用いられる伝導層は、非磁性体であり、かつ導電性に優れたものであれば特に限定されるものではなく、例えば、Cu層、Ag層などが挙げられる。伝導層の膜厚は、一般に1~5nm程度である。

【0012】本発明の磁気抵抗効果材料に用いられる反強磁性層は、反強磁性体から形成された層であれば特に限定されるものではなく、例えば、FeMn層、IrMn層、及びNiMn層などや、NiO層、CoO層、及びFe₂O₃などの酸化物系反強磁性層などが挙げられる。反強磁性層の膜厚は、一般に5~25nm程度である。

【0013】本発明の磁気抵抗効果材料は、一般に基板上に形成されるが、基板の材質は非磁性であれば特に限定されるものではなく、例えば、Si、TiC、Al₂O₃、及びガラスなどの基板が用いられる。

【0014】本発明に従い、Zr層及びCu層をこの順序で積層した下地層を用い、この上に強磁性層、伝導層、強磁性層、及び反強磁性層をこの順序で積層することにより、MR変化率及び一軸異方性磁界が高く、かつフリー層の保磁力の低いスピバルブ型の磁気抵抗効果材料とすることができる。Zr層及びCu層の積層膜を

下地層として用いることにより、上記本発明の効果が得られる理由について詳細は明らかではないが、Zr層が、基板とCu層との濡れ性を高め、最密充填面の成長を促進して配向性を制御し、その上に形成されるCu層がfcc構造を有し、その上に形成される強磁性層の結晶構造を制御し、良好なMR特性をMR積層膜に付与するものと思われる。

【0015】

【発明の実施の形態】図1は、本発明に従う一実施例の磁気抵抗効果材料を示す断面図である。図1に示す磁気抵抗効果材料の積層膜は、基板上に形成されており、本実施例では、Si基板上に形成されている。Si基板には、Zr層2（膜厚6.5nm）が形成されており、Zr層2の上にCu層3（膜厚1.5nm）が形成されている。Zr層2及びCu層3から下地層1が構成されている。Cu層3の上には、強磁性層4としてのCoFe層（膜厚5nm）が形成され、その上には伝導層5としてのCu層（膜厚2.5nm）が形成されている。伝導層5の上には強磁性層6としてのCoNiFe層（膜厚3nm）が形成され、さらにその上には反強磁性層7としてのIrMn層（膜厚15nm）が形成されている。

【0016】図2は、図1に示す本実施例の磁気抵抗効果材料のMR曲線（MR比の外部磁界に対する変化を示す曲線）を示す図である。MR比は4.8%であり、フリー層の保磁力（Hc）は、30eである。

【0017】比較として、図1に示す下地層1として、Ta層（膜厚8nm）を用い、その上に同様の強磁性層4、伝導層5、強磁性層6、及び反強磁性層7の積層膜を積層し、得られた磁気抵抗効果材料についてMR特性を評価した。図3は、得られた磁気抵抗効果材料のMR曲線を示している。MR比は、5.1%と高いが、フリー層の保磁力（Hc）が900eと大きく、また一軸異方性（Hua）も小さいことがわかる。

【0018】さらに比較として、図1に示す下地層1として、Zr層（膜厚8nm）を用い、その上に同様の強磁性層4、伝導層5、強磁性層6及び反強磁性層7の積層膜を形成し、比較の磁気抵抗効果材料を得た。図4は、得られた磁気抵抗効果材料のMR曲線を示す図である。フリー層の保磁力（Hc）は150eであり、一軸異方性（Hua）も実用レベルにあるが、MR比が2.8%と低いことがわかる。

【0019】以上のことから明らかなように、本発明に従い、下地層としてZr層/Cu層を用いることにより、MR比及び一軸異方性（Hua）を高め、かつフリー層の保磁力（Hc）を低くすることができ、磁気抵抗効果材料としての磁界感度が著しく向上することがわかる。

【0020】図5は、本発明に従う他の実施例の磁気抵抗効果材料を示す断面図である。図5に示す磁気抵抗効

果材料も、Si基板上に形成されている。Si基板上には、Zr層12が形成されており、その上にCu層13が形成されている。Zr層12及びCu層13から下地層11が構成されている。下地層11の上には、強磁性層14としてのCoFe層（膜厚5nm）が形成され、さらにその上には、伝導層15としてのCu層（膜厚2.5nm）、強磁性層16としてのCoFe層（膜厚3nm）、及び反強磁性層17としてのIrMn層（膜厚15nm）が形成されている。本実施例では、IrMn層17の上に、さらに保護層18として、Zr層（膜厚4nm）が形成されている。

【0021】本実施例では、下地層11中のCu層13の膜厚を1.0~3.5nmの範囲で変化させた磁気抵抗効果材料を形成し、それらのMR比及び保磁力（Hc）を測定し、膜厚の影響を調べた。また、比較としてCu層13の膜厚が0nmのもの、すなわち下地層11がZr層12のみであるものを作製し、同様にMR比及び保磁力（Hc）を測定した。

【0022】図6は、これらの測定結果を示す図である。図6から明らかなように、Cu層13の厚みが3.0nmを超えると、保磁力が増加する傾向にあることがわかる。従って、Cu層13の厚みは、3nm以下であることが好ましく、さらには3nm~1nmの範囲内が好ましいことがわかる。

【0023】

【発明の効果】本発明に従えば、MR変化率及び一軸異方性磁界が高く、かつ磁界反転層の保磁力の低いスピナバルブ型の磁気抵抗効果材料とすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に従う一実施例の磁気抵抗効果材料を示す断面図。

【図2】図1に示す実施例のMR曲線を示す図。

【図3】比較例の磁気抵抗効果材料のMR曲線を示す図。

【図4】他の比較例の磁気抵抗効果材料のMR曲線を示す図。

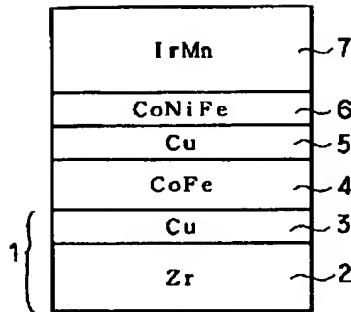
【図5】本発明に従う他の実施例の磁気抵抗効果材料を示す断面図。

【図6】図5に示す実施例においてCu層13を変化させたときのMR比及び保磁力を示す図。

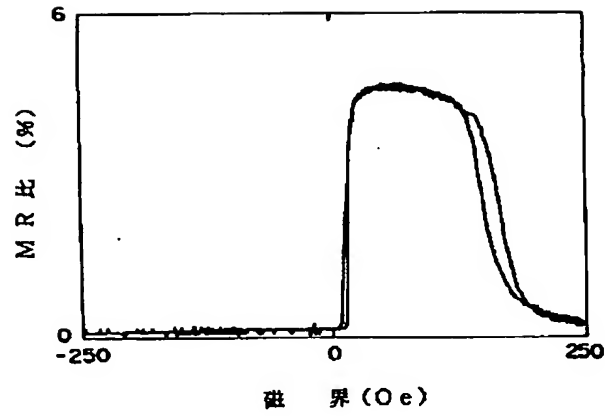
【符号の説明】

- 1, 11...下地層
- 2, 12...Zr層
- 3, 13...Cu層
- 4, 14...強磁性層
- 5, 15...伝導層
- 6, 16...強磁性層
- 7, 17...反強磁性層
- 18...保護層

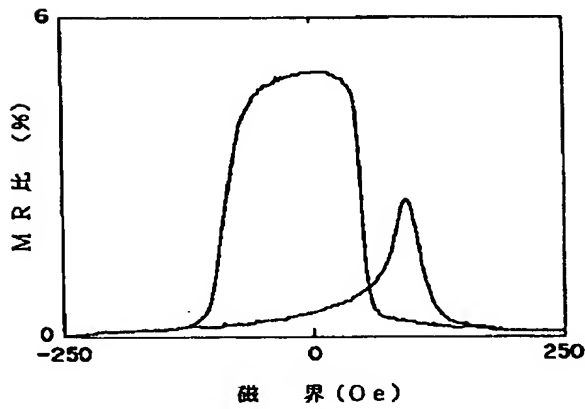
【図1】



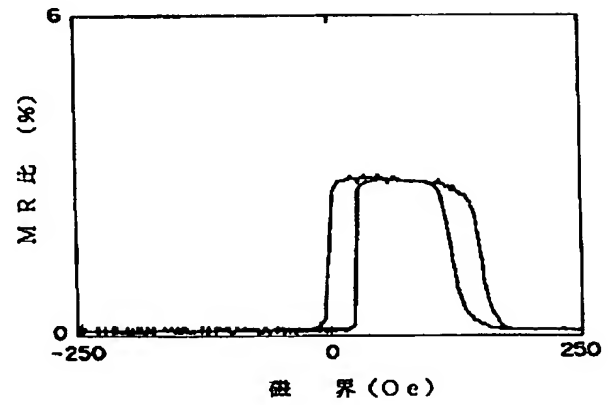
【図2】



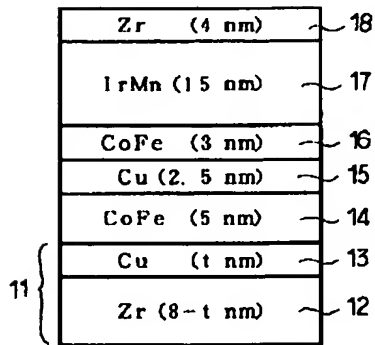
【図3】



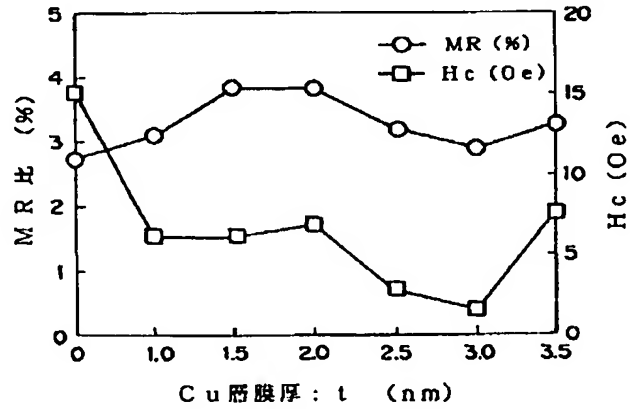
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 山野 耕治
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三
洋電機株式会社内

(72)発明者 田沼 俊雄
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三
洋電機株式会社内
(72)発明者 久米 実
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三
洋電機株式会社内

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] this invention relates to a spin bulb type magnetoresistance-effect material which has the structure which carried out the laminating of a ferromagnetic layer, a conduction layer, a ferromagnetic layer, and the antiferromagnetism layer in this sequence especially about magnetoresistance-effect material.

[0002]

[Description of the Prior Art] As the magnetic head used for a hard disk (HDD), the magnetoresistance-effect type (MR) head attracts attention in recent years. An MR head is a head which detects change of an external magnetic field by change of conductivity, has high magnetic field sensitivity compared with the conventional induction-type magnetic head, and can attain high-density record-ization. As a magnetoresistance-effect material used for such an MR head, conventionally, 3d transition-metals alloys, such as a permalloy, are adopted, and the signal is detected by the change in the resistance corresponding to change of the magnetization direction (anisotropy magnetoresistance effect : AMR).

[0003] However, a huge magnetoresistance-effect (GMR) type magnetoresistance-effect material which shows resistance rate of change high 1 figure compared with this conventional AMR is found out, and attracts attention recently. Generally GMR material has the multilayer structure which carried out the laminating of a ferromagnetic layer and the nonmagnetic conduction layer, and three kinds of material systems called (1) antiferromagnetism combination type, (2) coercive-force difference type, and (3) spin bulb type are known.

[0004] Spin bulb type MR material has the structure which carried out the laminating of a ferromagnetic layer, a conduction layer, a ferromagnetic layer, and the antiferromagnetism layer, and an antiferromagnetism layer combines with one ferromagnetic layer magnetically, and it is carrying out the pin stop of the magnetization of this ferromagnetic layer. For this reason, the anti-parallel magnetization state is stable in the latus magnetic field field, and it considers as MR material near utilization highly magnetic-reluctance rate of change] from the place where magnetic field sensitivity is high.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] In such a spin bulb type MR material, in order to obtain high magnetic field detection sensitivity, MR rate of change and a uniaxial-anisotropy magnetic field (H_u) are high, and it is desirable for the coercive force (H_c) of a magnetic field reversal (free) layer to be low, and various examination is made from such a viewpoint.

[0006] However, about the ground layer of such a spin bulb type MR material, sufficient examination is not made and examination of magnetoresistance-effect material including the ground layer which shows outstanding MR property is not fully released.

[0007] The purpose of this invention has MR rate of change and a uniaxial-anisotropy magnetic field in offering the new structure which includes the ground layer of a low spin bulb type magnetoresistance-effect material of the coercive force of a magnetic field inversion layer highly.

[0008]

[Means for Solving the Problem] The magnetoresistance-effect material of this invention is a spin bulb type magnetoresistance-effect material which has the structure which carried out the laminating of a ferromagnetic layer, a conduction layer, a ferromagnetic layer, and the antiferromagnetism layer in this sequence on the ground layer, and is a magnetoresistance-effect material characterized by using the ground layer which carried out the laminating of Zr layer and the Cu layer in this sequence as a ground layer.

[0009] The cascade screen of Zr layer used as a ground layer in this invention and Cu layer is prepared so that the ferromagnetic layer of the lower part whose Cu layer is a magnetic field inversion layer may be touched. Therefore, the ground layer in this invention is formed as a ground layer of the free ferromagnetic layer which has not been combined as magnetically as an antiferromagnetism layer. As for especially the thickness of Zr layer and Cu layer, it is desirable that it is about 5-15nm as the whole ground layer although not limited, and, as for Cu layer, it is desirable that it is thickness 3nm or less. Moreover, especially the formation method of Zr layer and Cu layer is not limited, and can be formed by the general thin film formation methods, such as the sputtering method, a vacuum deposition method, and CVD.

[0010] It is not limited especially if the ferromagnetic layer used for the magnetoresistance-effect material of this invention is a layer formed from the ferromagnetic, and ferromagnetic layers, such as a NiFe layer, Co layer, a CoNiFe layer, and a CoFe layer, are mentioned. Generally the thickness of a ferromagnetic layer is about 1-10nm.

[0011] The conduction layer used for the magnetoresistance-effect material of this invention is non-magnetic material, and especially if excelled in conductivity, it is not limited, and Cu layer, Ag layer, etc. are mentioned. Generally the thickness of a conduction layer is about 1-5nm.

[0012] what will be limited especially if the antiferromagnetism layer used for the magnetoresistance-effect material of this invention is a layer formed from the antiferromagnetic substance -- it is not -- for example, a FeMn layer, an IrMn layer a NiMn layer, etc. a NiO layer and a CoO layer, and Fe₂O₃ etc. -- an oxide system antiferromagnetism layer etc. is mentioned Generally the thickness of an antiferromagnetism layer is about 5-25nm.

[0013] Although the magnetoresistance-effect material of this invention is generally formed on a substrate, it is not limited especially if the quality of the material of a substrate is nonmagnetic, and substrates, such as Si, TiC, aluminum₂O₃, and glass, are used.

[0014] According to this invention, MR rate of change and a uniaxial-anisotropy magnetic field can consider as a spin bulb type magnetoresistance-effect material with the low coercive force of a free layer highly using the ground layer which carried out the laminating of Zr layer and the Cu layer in this sequence by carrying out the laminating of a ferromagnetic layer, a conduction layer, a ferromagnetic layer, and the antiferromagnetism layer in this sequence on this. By using the cascade screen of Zr layer and Cu layer as a ground layer, it is the above-mentioned book. Zr layer raises the wettability of a substrate and Cu layer, promotes growth of a closest packing side, a stacking tendency is controlled, Cu layer formed on it has fcc structure, the crystal structure of the ferromagnetic layer formed on it is controlled, and it is thought that good MR property is given to MR cascade screen.

[0015]

[Embodiments of the Invention] Drawing 1 is the cross section showing the magnetoresistance-effect material of one example according to this invention. The cascade screen of the magnetoresistance-effect material shown in drawing 1 is formed on the substrate, and is formed on Si substrate by this example. On Si substrate, the Zr layer 2 (6.5nm of thickness) is formed, and the Cu layer 3 (1.5nm of thickness) is formed on the Zr layer 2. The ground layer 1 consists of a Zr layer 2 and a Cu layer 3. On the Cu layer 3, the CoFe layer (5nm of thickness) as a ferromagnetic layer 4 is formed, and Cu layer (2.5nm of thickness) as a conduction layer 5 is formed on it. On the conduction layer 5, the CoNiFe layer (3nm of thickness) as a ferromagnetic layer 6 is formed, and the IrMn layer (15nm of thickness) as an antiferromagnetism layer 7 is further formed on it.

[0016] Drawing 2 is drawing showing MR curve (curve which shows the change to the external magnetic field of MR ratio) of the magnetoresistance-effect material of this example shown in drawing 1. MR ratio is 4.8% and the coercive force (Hc) of a free layer is 3Oe.

[0017] As comparison, the laminating of the cascade screen of the ferromagnetic layer 4 same on it, the conduction layer 5, the ferromagnetic layer 6, and the antiferromagnetism layer 7 was carried out using Ta layer (8nm of thickness) as a ground layer 1 shown in drawing 1, and MR property was evaluated about the obtained magnetoresistance-effect material. Drawing 3 shows MR curve of the obtained magnetoresistance-effect material. Although MR ratio is as high as 5.1%, it is understood that the coercive force (Hc) of a free layer is as large as 90Oe(s), and small. [a uniaxial anisotropy (Hua)]

[0018] Furthermore, using Zr layer (8nm of thickness) as a ground layer 1 shown in drawing 1, as comparison, the cascade screen of the ferromagnetic layer 4 same on it, the conduction layer 5, the ferromagnetic layer 6, and the antiferromagnetism layer 7 was formed, and a comparative magnetoresistance-effect material was obtained. Drawing 4 is drawing showing MR curve of the obtained magnetoresistance-effect material. Although the coercive force (Hc) of a free layer is 15Oe(s) and a uniaxial anisotropy (Hua) is also in practical use level, it turns out that MR ratio is as low as 2.8%.

[0019] According to this invention, by using Zr layer / Cu layer as a ground layer shows that can raise MR ratio and a uniaxial anisotropy (Hua), and can make coercive force (Hc) of a free layer low, and the magnetic field sensitivity as a magnetoresistance-effect material improves remarkably so that clearly from the above thing.

[0020] Drawing 5 is the cross section showing the magnetoresistance-effect material of other examples according to this invention. The magnetoresistance-effect material shown in drawing 5 is also formed on Si substrate. The Zr layer 12 is formed on Si substrate, and the Cu layer 13 is formed on it. The ground layer 11 consists of a Zr layer 12 and a Cu layer 13. On the ground layer 11, the CoFe layer (5nm of thickness) as a ferromagnetic layer 14 is formed, and Cu layer (2.5nm of thickness) as a conduction layer 15, the CoFe layer (3nm of thickness) as a ferromagnetic layer 16, and the IrMn layer (15nm of thickness) as an antiferromagnetism layer 17 are further formed on it. In this example, Zr layer (4nm of thickness) is further formed as a protective layer 18 on the IrMn layer 17.

[0021] In this example, the magnetoresistance-effect material to which the thickness of the Cu layer 13 in the ground layer 11 was changed in 1.0-3.5nm was formed, those MR ratios and coercive force (Hc) were measured, and the influence of thickness was investigated. Moreover, the thing 11 whose thickness of the Cu layer 13 is 0nm as comparison, i.e., a ground layer, accepted it Zr layer 12, it came out, produced a certain thing, and measured MR ratio and coercive force (Hc) similarly.

[0022] Drawing 6 is drawing showing these measurement results. When the thickness of the Cu layer 13 exceeds 3.0nm so that clearly from drawing 6, it turns out that it is in the inclination which coercive force increases. Therefore, the thickness of the Cu layer 13 is understood that it is desirable that it is 3nm or less, and within the limits of 3 morenm - 1nm is desirable.

[0023]

[Effect of the Invention] If this invention is followed, MR rate of change and a uniaxial-anisotropy magnetic field can consider as a low spin bulb type magnetoresistance-effect material of the coercive force of a magnetic field inversion layer highly.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.